

С. И. Астапчик, Е. О. Лаптева, А. Ю. Коняев,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СМЕШАННЫХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ**

The article discusses the issues of recycling non-ferrous metals from mixed solid waste production and consumption. It is shown that in order to obtain high-quality alloys, it is necessary to sort the scrap metal by types and groups of alloys. A variant of the induction sorting of metals has been proposed and tested.

Современный подход к переработке твердых отходов производства и потребления предполагает разделение отходов на фракции с последующим использованием утилизируемых фракций материалов (металлы, стекло, пластмассы и др.) в качестве вторичного сырья [1, 2]. В смешанных твердых отходах наиболее ценными утилизируемыми фракциями являются металлы. Наиболее велико содержание металлов в таких видах отходов, как лом вышедших из эксплуатации транспортных средств, лом электротехнических и электронных изделий, кабельный лом и др. Значительная доля металлов (около 5 %) содержится в твердых коммунальных отходах (ТКО). При этом извлечение металлов из ТКО не только улучшает экономические показатели их переработки, но и является необходимым условием безаварийной работы технологического оборудования и обеспечения качества товарных продуктов переработки.

Как правило, при обработке твердых отходов требуется сепарация металлов из потока неметаллов. В случае сложных металлосодержащих отходов (автомобильный лом, отходы электротехнического и электронного оборудования и др.) сепарации могут предшествовать операции дробления и сортировки по крупности, в ходе которых происходит раскрытие материалов. При этом для последующей обработки крупных фракций (куски крупнее 60–65 мм) возможна ручная сортировка отходов с идентификацией фрагментов материалов по их внешнему виду, либо с применением металлоанализаторов (например, лазерных или рентгеновских спектрометров). Мелкие фракции поступают на механизированную обработку, в ходе которой для отделения черных металлов от немагнитных материалов широко используются магнитные

сепараторы – железоотделители. Для отделения цветных металлов от неметаллов применяются электродинамические (вихретоковые) сепараторы [2–4].

Вовлечение в хозяйственный оборот вторичного сырья позволяет получить существенный эколого-экономический эффект. При использовании вторичных металлов уменьшается потребность в минеральном сырье, снижается энергоемкость металлургических процессов, уменьшаются выбросы в биосферу загрязняющих веществ на горнорудных и металлургических предприятиях. Например, только экономия энергии в металлургических переделах за счет использования вторичного сырья оценивается в 60–95 % [5, 6]. Указанные преимущества обуславливают опережающий рост вторичной металлургии. В промышленно развитых странах доля вторичных металлов достигает 50–60 % в черной металлургии и превышает 40 % в производстве цветных металлов [5]. К сожалению, в нашей стране подобные показатели не достигнуты. Одной из причин такого положения является низкое качество металлолома, обусловленное взаимозасорением фракций. Плавка несортированного лома приводит к получению низкосортных сплавов, ухудшает экономические и экологические показатели металлургических процессов. Для ликвидации отставания в области переработки отходов и вторичной металлургии требуется разработка технологий и оборудования для сбора и дометаллургической обработки металлолома.

На кафедре «Электротехника» УрФУ накоплен опыт исследований и разработки устройств электродинамической сепарации для извлечения цветных металлов из различных видов смешанных твердых отходов и для индукционной сортировки цветных металлов при подготовке металлолома к металлургическому переделу [4, 7]. В данной работе излагаются некоторые результаты таких исследований.

Как уже отмечалось, для выделения черных металлов из потока немагнитных материалов широко используются магнитные сепараторы. Такое оборудование выпускается серийно целым рядом отечественных предприятий. Выделяют два основных типа сепараторов: подвесные магнитные сепараторы, располагаемые над конвейером, перемещающим отходы, и шкивные магнитные

сепараторы, встраиваемые в шкив конвейера. Как правило, в одной технологической линии устанавливается несколько таких сепараторов, что позволяет извлекать из потока отходов до 100 % черных металлов. Прогресс в области магнитных сепараторов связан, прежде всего, с применением высокоэффективных постоянных магнитов, позволяющих снизить электропотребление установок.

Менее изученными являются электродинамические сепараторы, которые могут применяться для сбора и обработки лома цветных металлов, поэтому основное внимание при исследованиях уделено таким сепараторам. В зарубежной практике для обработки отходов применяются два основных типа электродинамических сепараторов: сепараторы на основе трехфазных линейных индукторов, создающих бегущее магнитное поле, и сепараторы на основе вращающихся индукторов, в которых поле возбуждается постоянными магнитами (электромагнитами) [2, 3].

В УГТУ-УПИ (ныне УрФУ) в содружестве с ОАО «Уралэнергоцветмет» (г. Екатеринбург) были разработаны и созданы электродинамические сепараторы на основе линейных индукторов, предназначенные для извлечения цветных металлов из твердых коммунальных отходов [4]. Линейные индукторы сепараторов устанавливаются под лентой конвейера, перемещающего отходы. Под действием бегущего магнитного поля частицы металла перемещаются в поперечном направлении за пределы конвейера. Опыт испытаний и эксплуатации таких сепараторов показал, что из потока ТКО надежно извлекаются частицы крупностью более 40 мм (в расчете на алюминий). Достоинством сепараторов на основе линейных индукторов является их высокая производительность (по отходам). Сепараторы на основе вращающихся индукторов обладают меньшей производительностью, поскольку требуют подачи сепарируемых материалов монослоем. В то же время такие сепараторы могут создавать магнитные поля повышенной частоты (до 500 Гц), что позволяет уменьшить крупность извлекаемых металлических частиц до 10–15 мм. В целом, задача извлечения различных цветных металлов из потоков отходов с помощью

электродинамической сепарации успешно решается. Поэтому задачей исследований является снижение энергопотребления сепараторов при сохранении или расширении диапазона крупности сепарируемых на одной установке частиц металла.

Более сложной является задача сортировки лома цветных металлов по видам и группам сплавов, необходимой для получения из вторичного сырья более качественных продуктов. На кафедре «Электротехника» УрФУ разработана схема индукционной сортировки сплавов цветных металлов, которую можно применять при механизированной обработке кускового лома при крупности кусков менее 60–65 мм. В предлагаемой установке электродинамической сепарации используются двухсторонние линейные индукторы, устанавливаемые на наклонной плоскости. Частицы лома подаются из питателя в верхней части плоскости и движутся вдоль линии подачи. Благодаря разнице в физических свойствах сплавов частицы под действием электромагнитных сил приобретают разные траектории и собираются в нижней части плоскости в разные приемники. На опытном образце описанной установки, созданной в лаборатории университета, выполнены испытания с использованием медных сплавов, предоставленных заинтересованным предприятием. На рис. показаны некоторые результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность разделения разных сплавов по фракциям ( $B$  – отклонение частиц от линии подачи,  $L_0$  – удаление начальной точки подачи от края индуктора). В данных экспериментах использовались частицы с размерами  $40 \times 40 \times 3$  мм.

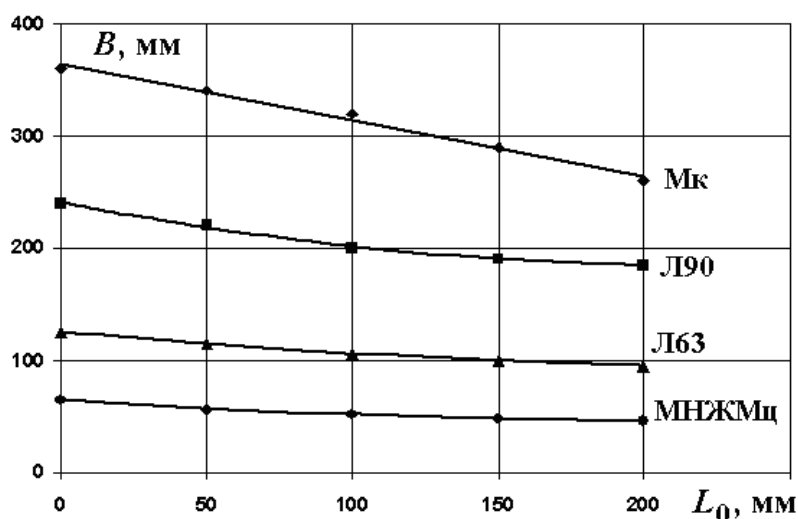


Рис. Отклонения частиц разных сплавов меди от линии подачи

Таким образом, исследования показали возможность сортировки сплавов цветных металлов, извлекаемых из различных видов твердых отходов, с применением электродинамической сепарации. Такая сортировка создает предпосылки для промышленной переработки твердых металлосодержащих отходов и улучшения качества вторичного сырья для получения качественных сплавов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_289114/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_289114/) (дата обращения 15.03.2021)
2. Шубов, Л. Я. Технология отходов / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставровский, А. В. Олейник. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 352 с.
3. Wilson, R. J. Application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes / R. J. Wilson, T. J. Veasey, D. M. Squires // Minerals Engineering. – 1994. – № 7, – P. 975–984.

4. Патрик, А. А. Устройства для электродинамической сепарации лома и отходов цветных металлов / А. А. Патрик, Н. Н. Мурахин, А. Ю. Коняев и др. // Промышленная энергетика. – 2001. – № 6. – С. 16–19.

5. Татаркин, А. И. Тенденции и перспективы развития рециклинга металлов / А. И. Татаркин, О. А. Романова, В. Г. Дюбанов и др. // Экология и промышленность России. – 2013. – № 5. – С. 4–10.

6. Колобов, Г. А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. – М.: Металлургия, 1993. – 288 с.

7. Коняев, А. Ю. Способы повышения эффективности электродинамических сепараторов для обработки твердых металлосодержащих отходов / А. Ю. Коняев, Ж. О. Абдуллаев, Е. В. Гапоненко, М. Е. Зязев // Экология промышленного производства. – 2019. – № 1. – С. 2–6.